

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

Aktenzeichen: 102 44 399.8

Anmeldetag: 24. September 2002

Anmelder/Inhaber: Infineon Technologies AG, München/DE

Bezeichnung: Defekt-Reparatur-Verfahren, insbesondere zur Reparatur von Quarz-Defekten auf alternierenden Phasenmasken

IPC: G 03 F 1/14

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 23. September 2003
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag


Brosig

Beschreibung

Defekt-Reparatur-Verfahren, insbesondere zur Reparatur von Quarz-Defekten auf alternierenden Phasenmasken

5

Die Erfindung betrifft ein Defekt-Reparatur-Verfahren, insbesondere ein Verfahren zur Reparatur von Quarz-Defekten auf alternierenden Phasenmasken gemäß Oberbegriff des
10 Anspruchs 1, sowie ein - unter Verwendung eines derartigen Defekt-Reparatur-Verfahrens repariertes - Bauteil, insbesondere Photomaske.

Zur Herstellung von Halbleiter-Bauelementen, insbesondere
15 Silizium-Halbleiter-Bauelementen können z.B. sog. photolithografische Verfahren verwendet werden.

Hierbei wird zunächst die Oberfläche des entsprechenden - aus einkristallinem Silizium bestehenden - Wafers einem
20 Oxidations-Prozess unterzogen, und dann auf die Oxidschicht eine lichtempfindliche Photolackschicht aufgebracht.

Daraufhin wird - unter Zwischenschaltung einer entsprechenden optischen Einrichtung - über dem Wafer eine Photomaske
25 angeordnet, deren Struktur der jeweils auf dem Wafer zu schaffenden Struktur entspricht.

Als nächstes wird die Photomaske - und somit auch die entsprechende Struktur auf dem Photolack - belichtet, und
30 dann die Photomaske wieder entfernt.

Wird dann der Photolack entwickelt, und einem Ätz-Prozess unterzogen, werden die belichteten Stellen des Photolacks (und die jeweils darunterliegenden Stellen der Oxidschicht)
35 vom Wafer entfernt - die unbelichteten bleiben stehen.

Durch die freigelegten Fenster kann jetzt das einkristalline Silizium - z.B. mittels entsprechender Diffusions- oder Ionenimplantationsprozesse - gezielt verunreinigt werden - beispielsweise können durch das Einbringen von 5-wertigen Atomen, z.B. Phosphor, n-leitende Gebiete, und das Einbringen von 3-wertigen Atomen, z.B. Bor, p-leitende Gebiete erzeugt werden.

Die mit herkömmlichen Photolithographieverfahren realisierbaren Strukturen können im Wellenlängenbereich des zur Belichtung verwendeten Lichts liegen.

Um noch kleinere Strukturen herzustellen, können - statt herkömmlicher Photomasken - z.B. sog. „alternierende Phasenmasken“ verwendet werden (Alt.-PSMs bzw. Alternating Phase Shift Masks).

Alternierende Phasenmasken weisen z.B. eine Quarz-Schicht, und eine - über der Quarz-Schicht liegende - Schicht aus Chrom auf.

Zur Herstellung einer alternierenden Phasenmaske wird - auf an sich bekannte Weise - zunächst die (oben liegende) Chrom-Schicht mit einer - der auf dem Wafer zu schaffenden Struktur entsprechenden - Struktur versehen (d.h. die Chrom-Schicht an den entsprechenden Stellen vollständig entfernt).

Daraufhin wird - nur jeweils an jeder zweiten der geschaffenen Strukturen, insbesondere Struktur-Linien - zusätzlich die Quarz-Schicht bis zu einer vorbestimmten Tiefe hin weggeätzt (so dass die hierdurch erzeugte Quarz-Schicht-Struktur - alternierend (abwechselnd) - mehr oder weniger tief ist).

Wird eine derartige Maske als Photomaske bei der Belichtung eines Silizium-Wafers verwendet, kann erreicht werden, dass jeweils benachbarte Struktur-Linien - und damit entsprechend

mehr oder weniger tiefe Quarz-Schichten - durchlaufende Lichtwellen gegeneinander um 180° phasenverdrehen werden, wodurch - aufgrund von Interferenz-Effekten zwischen den Lichtwellen - entsprechend schärfer abgegrenzte Intensitäts-
5 Maxima der Lichtwellen auf dem Silizium-Wafer erzeugt werden können, als bei der Verwendung herkömmlicher Photomasken.

Deshalb können mit einer alternierenden Phasenmaske relativ enge bzw. kleine Strukturen auf dem Silizium-Wafer realisiert
10 werden (z.B. bei Verwendung von Licht mit einer Wellenlänge von 248 nm Strukturen mit einer Größe von deutlich unter 100 nm, z.B. 90 nm).

Bei der Herstellung alternierender Phasenmasken kann es zu
15 Defekten in der Struktur der Quarz-Schicht kommen.

Beispielsweise kann durch einen entsprechenden, auf der Phasenmaske liegenden Partikel verhindert werden, dass an dem unter dem Partikel liegenden Bereich die Quarz-Schicht
20 weggeätzt wird. Dadurch entsteht eine - unerwünschte - Erhebung, d.h. ein sog. „Quartz Bump“.

Zur Reparatur von Quarz-Defekten bzw. Quartz Bumps kann z.B. ein sog. Nanomachining-Verfahren verwendet werden.

25 Ein derartiges Verfahren ist z.B. aus M. Verbeek, R. White, M. Klos: „High precision mask repair using nanomachining“, Proceedings of the 18th European Mask Conference, GMM Fachbericht Vol. 36, VDE Verlag 2002 bekannt, sowie z.B. aus
30 M. Lurance: „Subtractive Defect Repair via Nanomachining“, 20th Annual BACUS Symposium on Photomask Technology (2000), Proceedings of SPIE Vol. 4186, S. 670.

Hierbei wird ein Quarz-Defekt bzw. Quartz Bump - mechanisch -
35 mit Hilfe einer aus Diamant gefertigten Spitze eines AFM (AFM = Atomic Force Microscope) entfernt.

Bei diesem Verfahren kann das Zielniveau des Abtragprozesses (d.h. die gewünschte Tiefe der Quarz-Schicht-Struktur) genau definiert und eingehalten werden.

5 Allerdings kann - da die AFM-Spitzen bzw. AFM-Tips nach unten hin (spitz-)winklig zulaufen - die Quarz-Schicht in tiefen, relativ nahe am Rand der Struktur liegenden Bereichen nicht bzw. nur unvollständig entfernt werden, was - beim späteren
10 Einsatz der entsprechenden Maske - zu Transmissionsverlusten führt.

Statt eines Nanomachining-Verfahrens kann zur Reparatur von Quarz-Defekten bzw. Quartz Bumps auch ein auf fokussierter Ionenstrahlung (FIB bzw. Focused Ion Beam) basierendes
15 Verfahren verwendet werden.

Ein derartiges Verfahren ist z.B. aus C. Friedrich, M. Verbeek, L. Mader, C. Crell, R. Pforr, U.A. Griesinger: „Defect Printability and Repair of Alternating Phase Shift
20 Masks“, Proceedings of the 16th European Mask Conference, GMM Fachbericht Vol. 30, VDE Verlag 1999 bekannt, sowie z.B. aus D. Kakuta, I. Kagami, T. Komizo, H. Ohnuma: „Quantitative Evaluation of Focused Ion-Beam Repair for Quartz Bump Defect of Alternating Phase-Shift Masks“, 21st Annual BACUS
25 Symposium on Photomask Technology (2002), Proceedings of SPIE Vol. 4562, S. 753.

Hierbei wird - mit Hilfe von von einer Ionenstrahlanlage gelieferter, fokussierter Ionenstrahlung - ein von einem Gas-
30 Injektor stammendes Gas an der Stelle des Quarz-Defekts spontan zum Ätzen angeregt; die - unerwünschte - Quarz-Erhebung wird also durch einen Ätz-Prozess entfernt.

Bei diesem Verfahren können relativ großflächige Gebiete
35 relativ schnell abgetragen werden. Außerdem kann die Quarz-Schicht auch in tiefen, nahe am Rand der Struktur liegenden

Bereichen - bis nahe an die Strukturgrenze hin - sauber entfernt werden.

5 Allerdings ist die Ätzrate im Bereich der Kanten bzw. des Rands des Quarz-Defekts höher, als beim übrigen, innen liegenden Quarz-Defekt-Bereich.

10 Wird der innen liegende Bereich des Quarz-Defekts bis auf Zielniveau abgetragen (d.h. bis zur gewünschten Tiefe der Quarz-Schicht-Struktur), wird am Kanten- bzw. Rand-Bereich des Quarz-Defekts - über das Zielniveau hinaus - Quarz entfernt.

15 Rund um den ehemaligen Quarz-Defekt herum entsteht somit ein Graben im Quarz (sog. „River Bed“), wodurch es - beim späteren Einsatz der entsprechenden Maske - zu Transmissionsverlusten kommt.

20 Die Erfindung hat zur Aufgabe, ein neuartiges Defekt-Reparatur-Verfahren, insbesondere ein neuartiges Verfahren zur Reparatur von Quarz-Defekten auf alternierenden Phasenmasken zur Verfügung zu stellen (sowie ein - unter Verwendung eines derartigen Defekt-Reparatur-Verfahrens repariertes - Bauteil, insbesondere Photomaske).

25 Sie erreicht dieses und weitere Ziele durch die Gegenstände der Ansprüche 1 und 13.

30 Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen angegeben.

35 Gemäß einem Grundgedanken der Erfindung wird ein Defekt-Reparatur-Verfahren, insbesondere zur Reparatur von Quarz-Defekten auf alternierenden Phasenmasken, zur Verfügung gestellt, wobei zur Reparatur von auf ein- und demselben Bauteil, insbesondere ein- und derselben Maske vorkommenden Defekten sowohl im wesentlichen auf mechanischen Prozessen

beruhende Defekt-Reparatur-Verfahrens-Schritte, als auch im wesentlichen auf Ätz-Prozessen beruhende Defekt-Reparatur-Verfahrens-Schritte eingesetzt werden.

- 5 Besonders vorteilhaft kann es sich bei den - im wesentlichen auf mechanischen Prozessen beruhenden - Defekt-Reparatur-Verfahrens-Schritten um Nanomachining-Verfahrens-Schritte handeln, und bei den - im wesentlichen auf Ätz-Prozessen beruhenden - Defekt-Reparatur-Verfahrens-Schritten um FIB-
10 (Focused Ion Beam-) Verfahrensschritte.

- Bei einer bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung werden zunächst die im wesentlichen auf Ätz-Prozessen beruhenden Defekt-Reparatur-Verfahrens-Schritte, insbesondere FIB-
15 Verfahrensschritte durchgeführt, und dann die im wesentlichen auf mechanischen Prozessen beruhenden Defekt-Reparatur-Verfahrens-Schritte, insbesondere Nanomachining-Verfahrens-Schritte.

- 20 Vorteilhaft wird bei den zunächst durchgeführten - im wesentlichen auf Ätz-Prozessen beruhenden - Defekt-Reparatur-Verfahrens-Schritten, insbesondere FIB-Verfahrensschritten ein entsprechender Defekt an einem Randbereich nicht bzw. nur teilweise repariert, und der - zunächst nicht bzw. nur
25 teilweise reparierte - Randbereich des Defekts dann bei den darauffolgend durchgeführten - im wesentlichen auf mechanischen Prozessen beruhenden - Defekt-Reparatur-Verfahrens-Schritten, insbesondere Nanomachining-Verfahrens-Schritten entfernt.

- 30 Hierdurch kann die - bei herkömmlichen FIB-Verfahren auftretende - Überätzung im Bereich der Kanten bzw. des Rands des Quarz-Defekts verhindert werden (d.h. die Entstehung eines „River Beds“).

- 35 Da der - später - unter Verwendung eines Nanomachining-Verfahrens entfernte Randbereich des Quarz-Defekts relativ

kleine Abmessungen hat, können - gegenüber herkömmlichen Nanomachining-Verfahren - Reparaturzeit und Tip-Verbrauch erheblich verringert werden.

5

Im folgenden wird die Erfindung anhand eines Ausführungsbeispiels und der beigefügten Zeichnung näher erläutert. In der Zeichnung zeigt:

10 Figur 1 eine schematische Querschnitt-Ansicht eines Abschnitts einer alternierenden Phasenmaske mit Quarz Bump;



Figur 2 eine schematische Querschnitt-Ansicht des in Figur 1 gezeigten Phasenmasken-Abschnitts mit Quartz Bump, sowie
15 einer AFM-Spitze, zur Veranschaulichung der bei einem Nanomachining-Defekt-Reparatur-Verfahren durchgeführten Verfahrensschritte;

Figur 3 eine schematische Querschnitt-Ansicht des in Figur 1 gezeigten Phasenmasken-Abschnitts mit Quartz Bump, sowie
20 einer Ionenstrahl-Vorrichtung, einer Gas-Injektor-Vorrichtung, und einer Ladungs-Neutralisations-Vorrichtung, zur Veranschaulichung der bei einem FIB-Defekt-Reparatur-Verfahren durchgeführten Verfahrensschritte;



Figur 4 eine schematische Ansicht des in Figur 1 gezeigten Phasenmasken-Abschnitts mit Quartz Bump von oben;

Figur 5 eine schematische Ansicht des in Figur 1 und 4 gezeigten Phasenmasken-Abschnitts mit Quartz Bump von oben,
30 nachdem gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung entsprechende FIB-Defekt-Reparatur-Verfahrensschritte durchgeführt wurden;

35 Figur 6a eine perspektivische Längsschnitt-Ansicht des in Figur 1 und 4 gezeigten Phasenmasken-Abschnitts mit Quartz Bump, nach Beginn der gemäß dem Ausführungsbeispiel der

vorliegenden Erfindung durchgeführten FIB-Defekt-Reparatur-Verfahrens-Schritte;

5 Figur 6b eine perspektivische Längsschnitt-Ansicht des in
Figur 1 und 4 gezeigten Phasenmasken-Abschnitts mit Quartz
Bump, nach Beendigung der gemäß dem Ausführungsbeispiel der
vorliegenden Erfindung durchgeführten FIB-Defekt-Reparatur-
Verfahrens-Schritte; und

10 Figur 7 ein Flussdiagramm zur Veranschaulichung des
prinzipiellen Ablaufs des bei dem Ausführungsbeispiel der
vorliegenden Erfindung durchgeführten, kombinierten FIB-
/Nanomachining-Defekt-Reparatur-Verfahrens.

15

In Figur 1 ist eine schematische Querschnitt-Ansicht eines
Abschnitts 1 einer alternierenden Phasenmaske (Alt.-PSM bzw.
Alternating Phase Shift Mask) gezeigt.

20

Die alternierende Phasenmaske ist aus zwei Schichten
aufgebaut, und zwar einer - unten liegenden - Quarz-Schicht
2, und einer - über der Quarz-Schicht 2 liegenden - Chrom-
Schicht 3.

25

Bei der Herstellung der alternierenden Phasenmaske wird
zunächst die (oben liegende) Chrom-Schicht 3 mit einer - der
später auf dem Wafer zu schaffenden Struktur entsprechenden -
Struktur versehen, wobei die Chrom-Schicht 3 an den
30 entsprechenden Stellen vollständig entfernt wird (vgl. z.B.
die in Figur 1, 2 und 4 gezeigten - zwischen den
stehengebliebenen Chrom-Stellen liegenden - Struktur-Linien
4a, 4b, 4c, 4d, 4e, 4f).

35

Daraufhin wird (wieder bezogen auf Figur 1) - zusätzlich -
und zwar nur jeweils an jeder zweiten der geschaffenen

Struktur-Linien 4a, 4b, 4c, 4d, 4e, 4f - die Quarz-Schicht 2 bis zu einer vorbestimmten Gesamt-Tiefe t_1 hin weggeätzt.

5 An den Struktur-Linien 4a, 4b, 4c, 4d, 4e, 4f weist die Quarz-Schicht 2 somit alternierend (abwechselnd) entweder eine - relativ geringe - Gesamt-Tiefe t_0 auf, oder eine - relativ hohe - Gesamt-Tiefe t_1 .

10 Wie z.B. in Figur 4 und 5 veranschaulicht, können die Struktur-Linien 4a, 4b, 4c, 4d, 4e, 4f z.B. jeweils eine Weite c von ca. 200 nm - 600 nm aufweisen, wobei die Weite c - abhängig von der später zwischen einen entsprechenden Wafer und die Phasenmaske geschalteten optischen Einrichtung - z.B. einem Viertel der Breite von - später - mit Hilfe der
15 alternierenden Phasenmaske auf dem Wafer zu fertigenden Leiterbahnen entsprechen kann.

Bei der Herstellung von alternierenden Phasenmasken kann es zu Fehlern in der Struktur der Quarz-Schicht 2 kommen.

20

Beispielsweise kann durch einen entsprechenden, auf der Phasenmaske liegenden Partikel verhindert werden, dass an dem unter dem Partikel liegenden Bereich die Quarz-Schicht 2 weggeätzt wird. Dadurch entsteht eine - unerwünschte -
25 Erhebung, d.h. ein sog. Quartz Bump 5.

Zur Reparatur von Quartz Bumps wird beim vorliegenden Ausführungsbeispiel der Erfindung ein Defekt-Reparatur-Verfahren angewandt, bei dem (zur Reparatur ein- und
30 desselben Quartz Bumps 5, bzw. zur Reparatur mehrerer bzw. sämtlicher Quartz Bumps der Phasenmaske) sowohl ein FIB-Defekt-Reparatur-, als auch ein Nanomachining-Defekt-Reparatur-Verfahren eingesetzt wird, d.h. ein kombiniertes FIB-/Nanomachining-Defekt-Reparatur-Verfahren.

35

In Figur 2 ist eine schematische Querschnitt-Ansicht des in Figur 1 gezeigten Phasenmasken-Abschnitts 1 mit Quartz Bump 5

gezeigt, sowie eine - zur Durchführung eines Nanomachining-Defekt-Reparatur-Verfahrens verwendete - AFM-Spitze 6 (AFM = Atomic Force Microscope).

- 5 Die AFM-Spitze 6 kann z.B. aus Diamant gefertigt sein, und wird zunächst von einer direkt oberhalb der entsprechenden Struktur-Linie 4d liegenden Position aus nach unten hin bewegt (vgl. z.B. Pfeil A), bis sich das untere Ende der AFM-Spitze 6 auf Zielniveau befindet (d.h. die gewünschte Tiefe t_1 der Quarz-Schicht-Struktur erreicht hat). Darauhin wird
10 die AFM-Spitze 6 - auf Höhe des Zielniveaus - derart hin- und herbewegt (vgl. z.B. Pfeil B), dass der Quartz Bump 5 bzw. Teile des Quartz Bumps 5 entfernt werden.
- 15 Wie bereits erwähnt, wird beim vorliegenden Ausführungsbeispiel der Erfindung zur Defekt-Reparatur - außer einem Nanomachining-Verfahren - zusätzlich ein FIB-Defekt-Reparatur-Verfahren verwendet (d.h. ein auf fokussierter Ionenstrahlung (FIB bzw. Focused Ion Beam)
20 basierendes Verfahren).

In Figur 3 ist eine schematische Querschnitt-Ansicht des in Figur 1 gezeigten Phasenmasken-Abschnitts 2 mit Quartz Bump 5 gezeigt, sowie eine - zur Durchführung eines FIB-Defekt-Reparatur-Verfahrens verwendete - FIB-Defekt-Reparatur-Anlage
25 7.

- Diese weist - außer der (eigentlichen) Ionenstrahl-Vorrichtung 7a - eine Gas-Injektor-Vorrichtung 7b, und eine
30 Ladungs-Neutralisations-Vorrichtung 7c auf.

- Wie in Figur 3 weiter gezeigt ist, wird - zur Durchführung eines FIB-Defekt-Reparatur-Verfahrens - die alternierende Phasenmaske in eine Vakuumkammer eingeführt, und dann - mit
35 Hilfe der von der Ionenstrahl-Vorrichtung 7a gelieferten, fokussierten Ionenstrahlung - ein von der Gas-Injektor-Vorrichtung 7b geliefertes Gas an der Stelle des Quartz Bumps

5 spontan zum Ätzen angeregt, und der Ionenstrahl - wie durch den Pfeil C veranschaulicht - derart hin- und herbewegt, dass der Quartz Bump 5 bzw. Teile des Quartz Bumps 5 - durch den stattfindenden Ätz-Prozess - entfernt werden.

5

Gemäß Figur 7 wird - wie im folgenden noch genauer erläutert wird - bei dem beim vorliegenden Ausführungsbeispiel

durchgeführten, kombinierten FIB-/Nanomachining-Defekt-

Reparatur-Verfahren - nach dem Einführen der alternierenden

10 Phasenmaske in eine entsprechende Vakuumkammer (Schritt S1) -

zunächst mittels eines FIB-Defekt-Reparatur-Verfahrens

lediglich der innere Bereich eines entsprechenden Quartz

Bumps 5 entfernt (d.h. nicht dessen Randbereiche 8a, 8b)

(Schritt S2), woraufhin - mittels eines Nanomachining-Defekt-

15 Reparatur-Verfahrens - (auch) die entsprechenden Randbereiche

8a, 8b des Quartz Bumps 5 entfernt werden (Schritt S3).

In Figur 6a ist eine perspektivische Längsschnitt-Ansicht des in Figur 1 und 4 gezeigten Phasenmasken-Abschnitts 1 mit

20 Quartz Bump 5 nach Beginn des beim kombinierten FIB-

/Nanomachining-Defekt-Reparatur-Verfahren zunächst

durchgeführten FIB-Defekt-Reparatur-Verfahrens gezeigt.

Wie aus Figur 6a ersichtlich ist, wird (indem die in Figur 3

25 gezeigte Ionenstrahl-Vorrichtung 7a der FIB-Defekt-Reparatur-

Anlage 7 an entsprechenden Stellen über der Phasenmaske

plaziert wird, bzw. der Ionenstrahl auf entsprechende Weise

hin- und herbewegt wird) der innen liegende Bereich des

Quartz Bumps 5 weggeätzt (sowie gemäß Figur 5 die direkt an

30 die Ränder der Struktur bzw. der Struktur-Linie 4d

angrenzenden Randbereiche des Quartz Bumps 5), nicht jedoch

die - gemäß der in Figur 5 gezeigten Darstellung in Bezug auf

die Längsrichtung der entsprechenden Struktur-Linie 4d vorne

und hinten liegenden - Randbereiche 8a, 8b des Quartz Bumps

35 5.

Durch den Einsatz eines FIB-Defekt-Reparatur-Verfahrens kann die Abtragung des innen liegenden Bereichs des Quartz Bumps 5 (sowie der direkt an die Ränder der Struktur bzw. der Struktur-Linie 4d angrenzenden Randbereiche des Quartz Bumps 5) relativ schnell durchgeführt werden, und der Quartz Bump 5 kann auch in tiefen, und nahe an den Rändern der Struktur bzw. der Struktur-Linie 4d liegenden Bereichen - bis nahe an die Strukturgrenze hin - sauber entfernt werden.

- 10 Wie aus Figur 6b ersichtlich ist, wird beim vorliegenden Ausführungsbeispiel mit Hilfe der oben erläuterten FIB-Defekt-Reparatur-Verfahrens-Schritte der innen liegende Bereich des Quartz Bumps 5 (sowie gemäß Figur 5 die o.g., direkt an die Ränder der Struktur-Linie 4d angrenzenden Randbereiche des Quartz Bumps 5) bis auf Zielniveau abgetragen (d.h. bis zur gewünschten Gesamt-Tiefe t_1 der Quarz-Schicht 2 im Bereich der Struktur-Linie 4d).

- 20 Demgegenüber werden - wie ebenfalls aus Figur 6b ersichtlich ist - die o.g. - vorderen bzw. hinteren - Randbereiche 8a, 8b des Quartz Bumps 5 komplett stehengelassen (oder alternativ (bezogen auf die ursprüngliche Höhe $t_1 - t_0$ des Quartz-Bumps 5) z.B. zu zwischen 20% und 70%, insbesondere zu zwischen 30% und 50% stehengelassen).

- 25 Gemäß Figur 5 und Figur 6b ist die Breite b des - komplett stehengelassenen - vorderen bzw. hinteren Randbereichs 8a, 8b (an der oberen, ebenen Begrenzungsfläche des jeweiligen Randbereichs 8a, 8b gemessen) im wesentlichen konstant, und 30 kann z.B. 10 nm - 50 nm (bzw. 100 nm) betragen.

- Da der - vordere bzw. hintere - Randbereich 8a, 8b des Quartz Bumps 5 stehengelassen wird, wird die bei herkömmlichen FIB-Verfahren dort auftretende Überätzung verhindert (d.h. die 35 Entstehung eines „River Beds“).

Nachdem auf die oben beschriebene Weise mit Hilfe eines FIB-Defekt-Reparatur-Verfahrens der innere Bereich des Quartz Bumps 5, sowie dessen unmittelbar an die Ränder der Struktur-Linie 4d angrenzenden Randbereiche bis auf Zielniveau weggeätzt worden sind (- und ggf. auf entsprechende Weise, d.h. mittels eines FIB-Verfahrens auch bei weiteren, insbesondere sämtlichen auf der alternierenden Phasenmaske vorhandenen Quartz Bumps jeweils der innere Bereich und die entsprechenden, unmittelbar an die Ränder der jeweiligen Struktur-Linie angrenzenden Randbereiche bis zur gewünschten Gesamt-Tiefe t_1 hin abgetragen worden sind -), werden dann mit Hilfe eines Nanomachining-Defekt-Reparatur-Verfahrens (auch) die entsprechenden - zunächst stehengelassenen - Randbereiche 8a, 8b des bzw. der Quartz Bumps 5 entfernt.

Dabei wird - nachdem die alternierende Phasenmaske aus der Vakuum-Kammer entfernt wurde - entsprechend ähnlich wie in Figur 2 gezeigt die - zur Durchführung eines Nanomachining-Defekt-Reparatur-Verfahrens verwendete - AFM-Spitze 6 zunächst von einer direkt oberhalb des entsprechenden, stehengelassenen Randbereichs 8a, 8b des Quartz Bumps 5 liegenden Position aus nach unten hin bewegt (vgl. z.B. Pfeil A), bis sich das untere Ende der AFM-Spitze 6 auf Zielniveau befindet (d.h. die gewünschte Tiefe t_1 der Quarz-Schicht-Struktur erreicht hat).

Als nächstes wird die AFM-Spitze 6 - auf Höhe des Zielniveaus - derart hin- und herbewegt (vgl. z.B. Pfeil B), dass der entsprechende - zunächst stehengelassene - Randbereich 8a, 8b des Quartz Bumps 5 (so gut wie möglich) entfernt wird.

Daraufhin werden auf entsprechende Weise, d.h. mittels eines Nanomachining-Defekt-Reparatur-Verfahrens, auch bei den übrigen - abgesehen vom Quartz Bump 5 noch auf der alternierenden Phasenmaske vorhandenen - Quartz Bumps die jeweils stehengelassenen Randbereiche bis auf Zielniveau abgetragen.

- Da die - zunächst stehengelassenen - Randbereiche 8a, 8b der Quartz Bumps 5 relativ kleine Abmessungen haben, können beim hier beschriebenen, kombinierten FIB-/Nanomachining-Defekt-Reperatur-Verfahren - gegenüber herkömmlichen Nanomachining-Verfahren - Reparaturzeit und Tip-Verbrauch erheblich verringert werden.

Patentansprüche

1. Defekt-Reparatur-Verfahren, insbesondere zur Reparatur
5 von Quarz-Defekten auf alternierenden Phasenmasken,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß zur
Reparatur von auf ein- und demselben Bauteil (1) vorkommenden
Defekten (5) sowohl im wesentlichen auf mechanischen
Prozessen (S3) beruhende Defekt-Reparatur-Verfahrens-
10 Schritte, als auch im wesentlichen auf Ätz-Prozessen (S2)
beruhende Defekt-Reparatur-Verfahrens-Schritte eingesetzt
werden.
2. Defekt-Reparatur-Verfahren nach Anspruch 1, bei welchem
15 die - im wesentlichen auf mechanischen Prozessen (S3)
beruhenden - Defekt-Reparatur-Verfahrens-Schritte
Nanomachining-Verfahrens-Schritte sind.
3. Defekt-Reparatur-Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, bei
20 welchem die - im wesentlichen auf Ätz-Prozessen (S2)
beruhenden - Defekt-Reparatur-Verfahrens-Schritte Gas-
Injektions-Verfahrens-Schritte beinhalten.
4. Defekt-Reparatur-Verfahren nach einem der vorhergehenden
25 Ansprüche, bei welchem die - im wesentlichen auf Ätz-
Prozessen (S2) beruhenden - Defekt-Reparatur-Verfahrens-
Schritte den Schritt aufweisen: Aussenden von Ionenstrahlung.
5. Defekt-Reparatur-Verfahren nach einem der vorhergehenden
30 Ansprüche, bei welchem die - im wesentlichen auf Ätz-
Prozessen (S2) beruhenden - Defekt-Reparatur-Verfahrens-
Schritte FIB- (Focused Ion Beam-) Verfahrensschritte sind.
6. Defekt-Reparatur-Verfahren nach einem der vorhergehenden
35 Ansprüche, bei welchem mit den - im wesentlichen auf
mechanischen Prozessen (S3) beruhenden - Defekt-Reparatur-
Verfahrens-Schritten, und den - im wesentlichen auf Ätz-

Prozessen (S2) beruhenden - Defekt-Reparatur-Verfahrens-Schritten ein- und derselbe Defekt (5) repariert wird.

7. Defekt-Reparatur-Verfahren nach einem der vorhergehenden
5 Ansprüche, bei welchem der bzw. die Defekte Quarz-Defekte bzw. Quarz Bumps (5) sind.

8. Defekt-Reparatur-Verfahren nach einem der vorhergehenden
10 Ansprüche, bei welchem zunächst die im wesentlichen auf Ätz-Prozessen (S2) beruhenden Defekt-Reparatur-Verfahrens-Schritte durchgeführt werden, und dann die im wesentlichen auf mechanischen Prozessen (S3) beruhenden Defekt-Reparatur-Verfahrens-Schritte.

15 9. Defekt-Reparatur-Verfahren nach Anspruch 8, bei welchem bei den zunächst durchgeführten - im wesentlichen auf Ätz-Prozessen (S2) beruhenden - Defekt-Reparatur-Verfahrens-Schritten ein entsprechender Defekt (5) an einem Randbereich nicht bzw. nur teilweise repariert wird bzw. nicht bzw. nur
20 teilweise repariert werden soll.

10. Defekt-Reparatur-Verfahren nach Anspruch 9, bei welchem bei den zunächst durchgeführten - im wesentlichen auf Ätz-Prozessen (S2) beruhenden - Defekt-Reparatur-Verfahrens-
25 Schritten der Defekt (5) am Randbereich komplett stehengelassen wird.

11. Defekt-Reparatur-Verfahren nach Anspruch 9, bei welchem bei den zunächst durchgeführten - im wesentlichen auf Ätz-
30 Prozessen (S2) beruhenden - Defekt-Reparatur-Verfahrens-Schritten der Defekt (5) am Randbereich zu mindestens 20%, insbesondere zu mindestens 30% bzw. 50% stehengelassen wird.

12. Defekt-Reparatur-Verfahren nach einem der Ansprüche 9
35 bis 11, bei welchem der - zunächst nicht bzw. nur teilweise reparierte - Randbereich des Defekts (5) zumindest teilweise bei den darauffolgend durchgeführten - im wesentlichen auf

mechanischen Prozessen (S3) beruhenden - Defekt-Reparatur-Verfahrens-Schritten repariert wird.

5 13. Defektbehaftetes Bauteil (1), bei welchem mindestens ein Defekt (5) unter Verwendung eines Defekt-Reparatur-Verfahrens gemäß einem der Ansprüche 1 bis 12 repariert worden ist.

14. Bauteil (1) nach Anspruch 13, wobei das Bauteil eine Photomaske ist.

10

15. Bauteil (1) nach einem der Ansprüche 13 oder 14, wobei das Bauteil eine alternierende Phasenmaske ist.

15 16. Bauteil (1) nach einem der Ansprüche 13 bis 15, wobei der Defekt ein Quarz-Defekt (5) ist.

Zusammenfassung

Defekt-Reparatur-Verfahren, insbesondere zur Reparatur von Quarz-Defekten auf alternierenden Phasenmasken

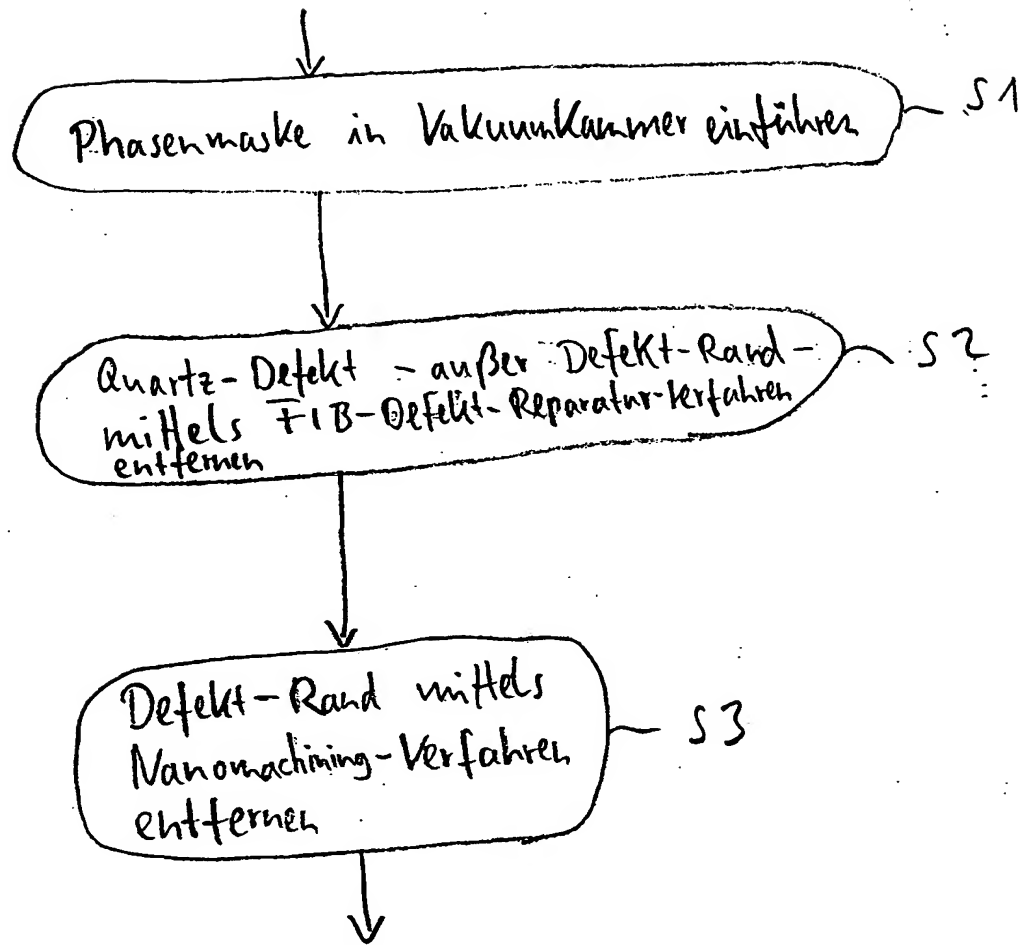
5

Die Erfindung betrifft ein Defekt-Reparatur-Verfahren, insbesondere zur Reparatur von Quarz-Defekten auf alternierenden Phasenmasken, wobei zur Reparatur von auf ein- und demselben Bauteil (1) vorkommenden Defekten (5) sowohl -
10 im wesentlichen auf mechanischen Prozessen (S3) beruhende - Defekt-Reparatur-Verfahrens-Schritte, insbesondere

Nanomachining-Verfahrens-Schritte, als auch - im wesentlichen auf Ätz-Prozessen (S2) beruhende - Defekt-Reparatur-Verfahrens-Schritte, insbesondere FIB- (Focused Ion Beam-)

15 Verfahrensschritte eingesetzt werden. Außerdem betrifft die Erfindung ein - unter Verwendung eines derartigen Defekt-Reparatur-Verfahrens repariertes - Bauteil (1), insbesondere Photomaske.

20 - Figur 7 -



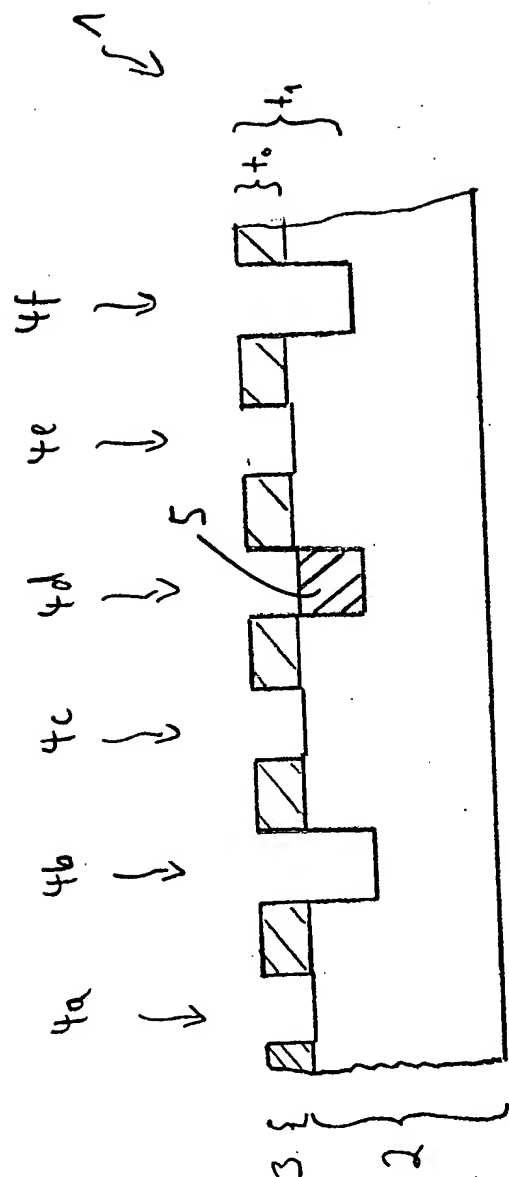
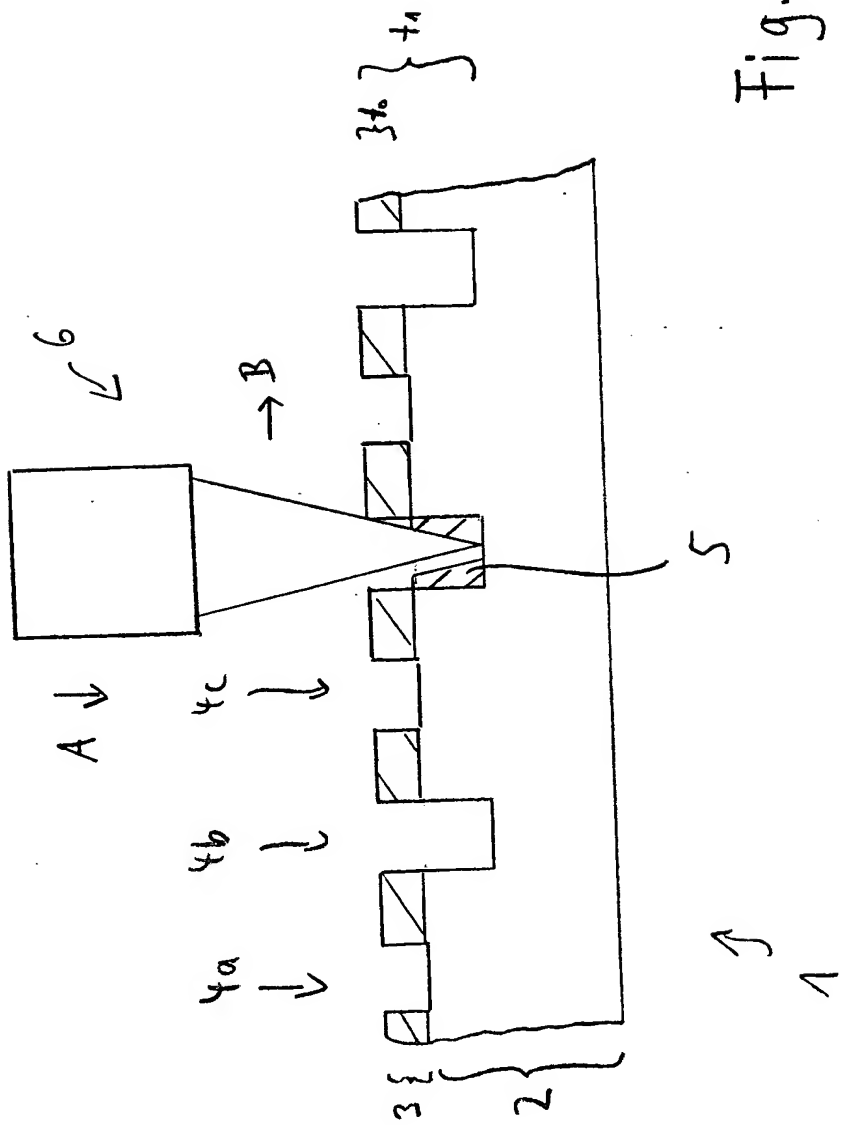


Fig. 1



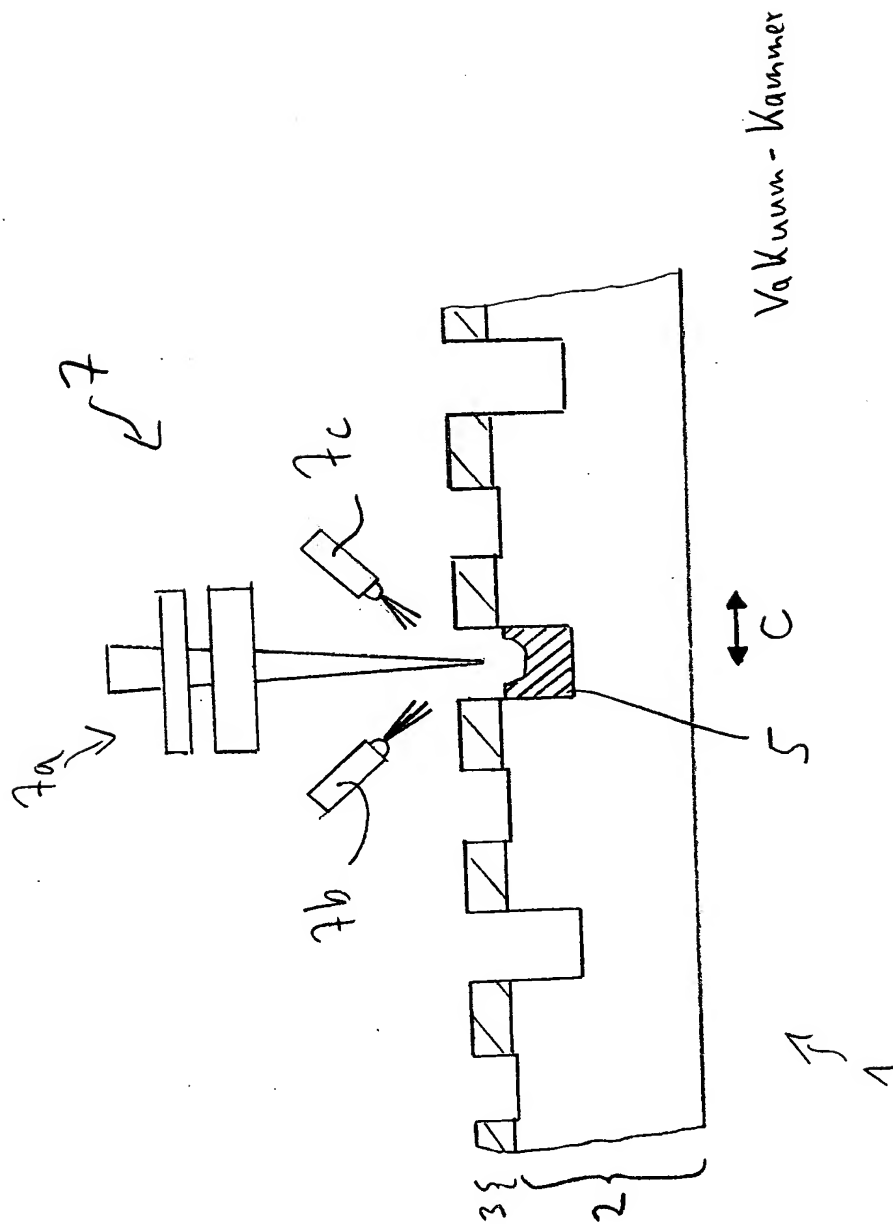
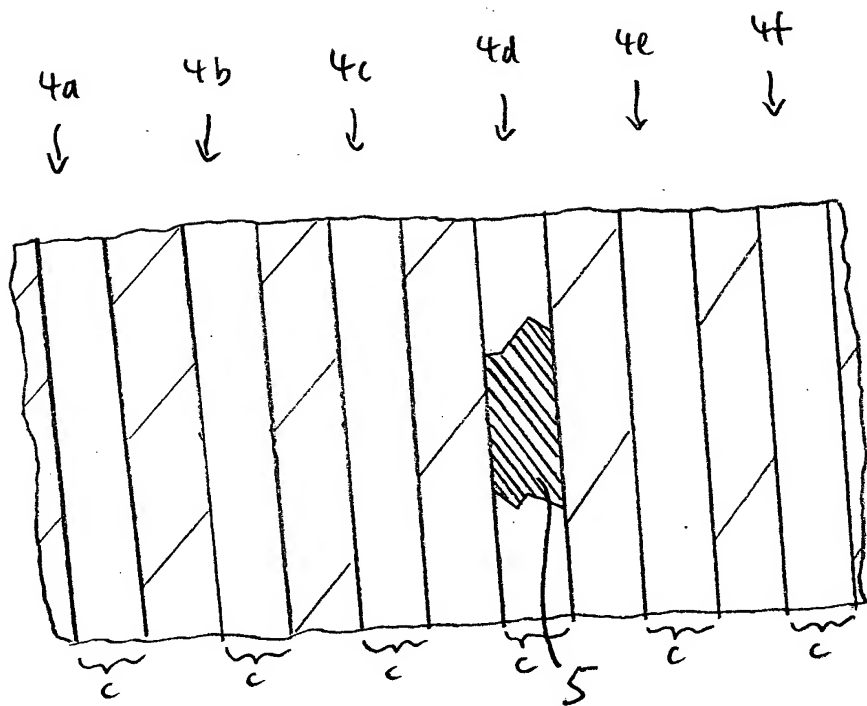
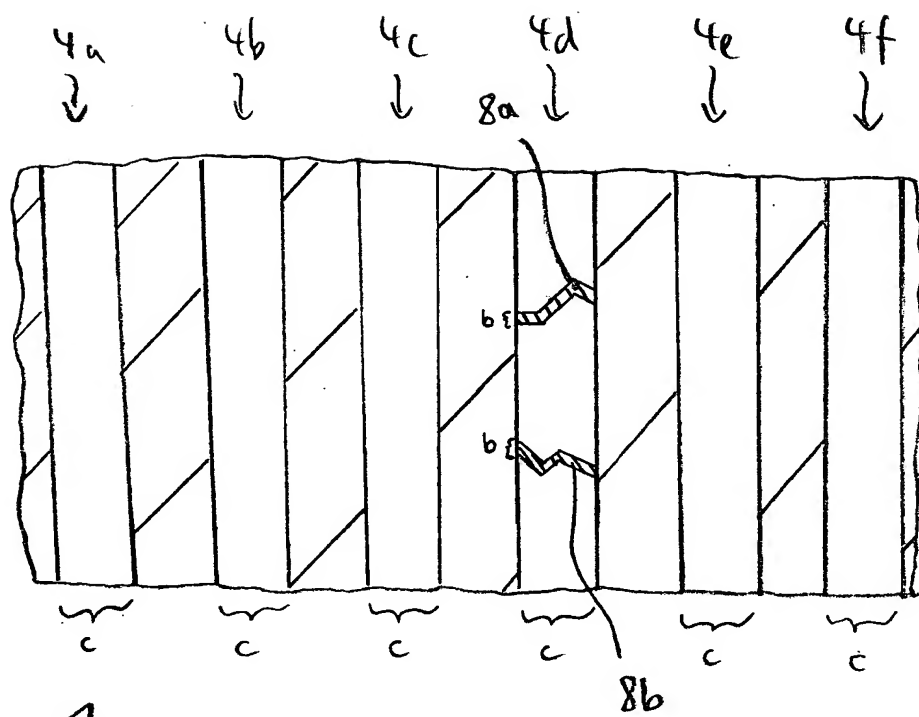


Fig. 3



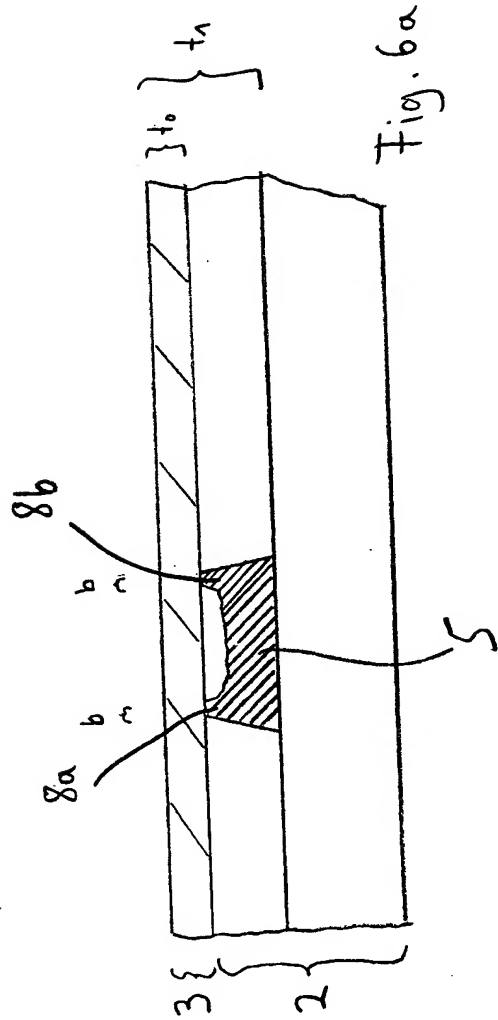
1 ↗

Fig. 4



1 ↗

Fig. 5



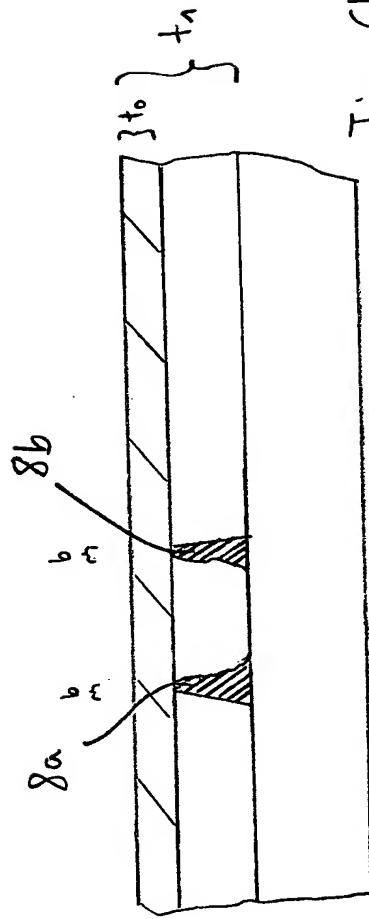


Fig. 6b

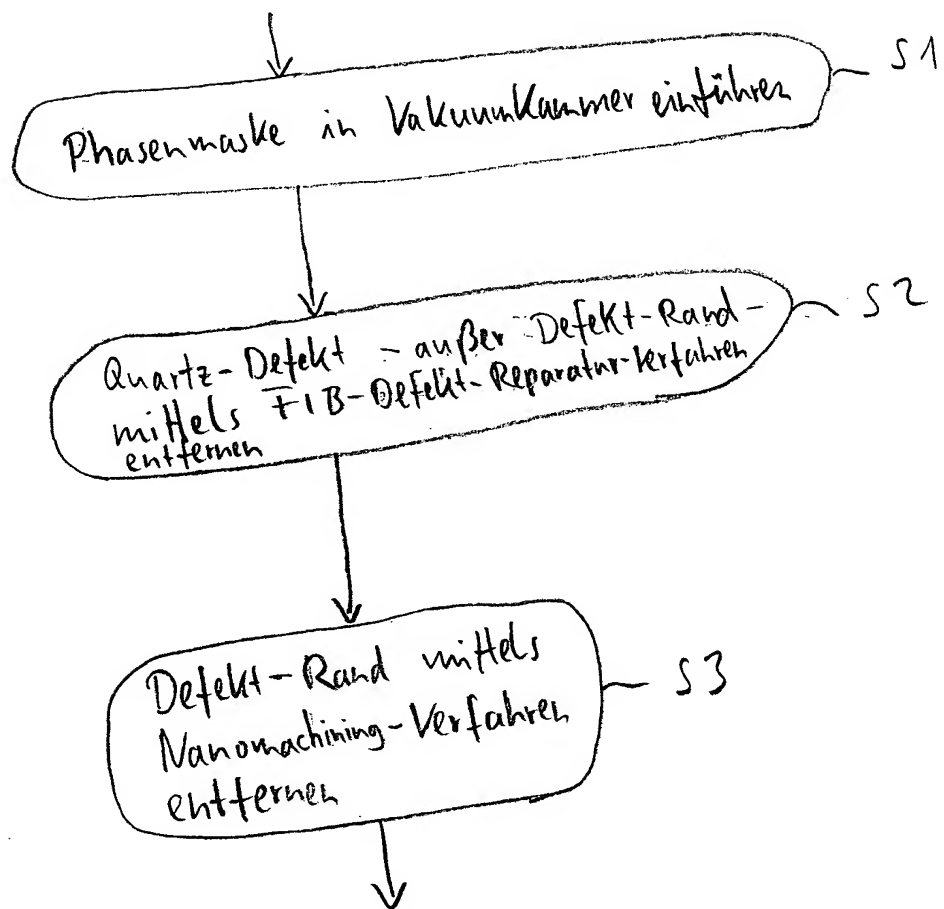


Fig. 7

Bezugszeichenliste

	1	Phasenmasken-Abschnitt
	2	Quarz-Schicht
5	3	Chrom-Schicht
	4a	Struktur-Linie
	4b	Struktur-Linie
	4c	Struktur-Linie
	4d	Struktur-Linie
10	4e	Struktur-Linie
	4f	Struktur-Linie
	5	Quartz Bump
	6	AFM-Spitze
	7	FIB-Defekt-Reparatur-Anlage
15	7a	Ionenstrahl-Vorrichtung
	7b	Gas-Injektor-Vorrichtung
	7c	Ladungs-Neutralisations-Vorrichtung
	8a	Randbereich
	8b	Randbereich
20		